

2000-340851

Abstract of JP2000340851

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a piezoelectric element which is superior in transfer efficiency of a voltage from a surface electrode to piezoelectric material and can effectively extract inverse piezoelectric effect of the piezoelectric material.

**SOLUTION:** This piezoelectric element has a piezoelectric material 10 and a surface electrode 2 composed of a metal which is directly jointed to the surface of the piezoelectric material 10 without interposing inclusion. The hardness Hv of the surface electrode 2 is at most 500. The thickness of the surface electrode 2 is preferably at most 2  $\mu$ m. It is preferable that the surface electrode 2 be formed, by using an electroless plating method or a sputtering method or a vapor deposition method.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-340851

(P2000-340851A)

(43) 公開日 平成12年12月8日 (2000.12.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームト\* (参考)

H 0 1 L 41/09

H 0 1 L 41/08

C

G 0 1 L 1/16

G 0 1 L 1/16

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平11-148221

(22) 出願日

平成11年5月27日 (1999.5.27)

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1

(72) 発明者 浅井 満

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 斉藤 康善

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 100079142

弁理士 高橋 祥泰 (外1名)

最終頁に続く

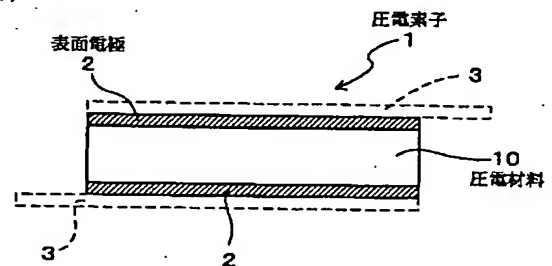
(54) 【発明の名称】 圧電素子

(57) 【要約】

【課題】 表面電極から圧電材料への電圧の伝達効率に優れ、かつ、圧電材料の逆圧電効果を効率よく引き出すことができる圧電素子を提供すること。

【解決手段】 圧電材料10と圧電材料10の表面に介在物を介することなく直接接合してなる金属よりなる表面電極2を有してなる。表面電極2はその硬さHvが500以下である。表面電極2の厚さは2μm以下であることが好ましい。表面電極2は、無電解メッキ法、スパッタ法あるいは蒸着法により形成されていることが好ましい。

(図1)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電材料と該圧電材料の表面に介在物を介することなく直接接合してなる金属よりなる表面電極を有してなり、該表面電極はその硬さHvが500以下であることを特徴とする圧電素子。

【請求項2】 請求項1において、上記表面電極の厚さは2μm以下であることを特徴とする圧電素子。

【請求項3】 請求項1又は2において、上記表面電極は、無電解メッキ法、スパッタ法、あるいは蒸着法により形成されていることを特徴とする圧電素子。

【請求項4】 請求項1において、上記表面電極は、ろう材により構成してあることを特徴とする圧電素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【技術分野】本発明は、アクチュエータ等に用いられる圧電素子に関する。

【0002】アクチュエータ等に用いられる従来の圧電素子9は、図6に示すごとく、圧電セラミックス等の圧電材料10の両面に表面電極としてのAgペースト焼き付け電極92を配設してなる。そして、Agペースト焼き付け電極92に取り出し電極3をそれぞれ接触させて、外部と電氣的導通を図っている。

【0003】圧電素子9をアクチュエータとして用いる場合には、取り出し電極3の間に電圧を付与することにより、圧電材料10を逆圧電効果により変形させる。この変形力を利用することにより、圧電素子9はアクチュエータとして機能する。また、圧電素子9はこれを積層して用いられる場合もある。また、圧電素子9をセンサとして利用することもできる。この場合には、圧電素子9に付与される応力を、上記取り出し電極3から電氣的な出力として取り出す。

## 【0004】

【解決しようとする課題】ところで、上記従来の圧電素子9においては、次の問題がある。即ち、上記圧電材料10に配設したAgペースト焼き付け電極92は、Ag粉とガラスフリット等を含むAgペーストを塗布して焼き付けることにより形成される。そのため、圧電材料10とAgとの界面に上記ガラスフリット等からなる高抵抗層が形成される。この高抵抗層は、例えば圧電素子9をアクチュエータとして利用する際に、Agペースト焼き付け電極92を介して圧電材料10に印加される電圧の伝達効率を悪化させる要因となり、圧電素子1の圧電特性を低下させる。

【0005】一方、圧電材料10に配設する表面電極は、逆圧電効果により変形する圧電材料10と密着しているため、その変形の抵抗となりうる。この抵抗が大きくなれば、表面電極から圧電材料10への電圧の伝達効率が向上しても、表面電極が受ける拘束力により逆圧電効果による変形が妨げられる。そこで、従来より、Agペースト焼き付け電極よりも圧電材料への電圧伝達性に

優れ、かつ、Agペースト焼き付け電極と同等以上に拘束力が小さい表面電極を有する圧電素子の開発が望まれていた。

【0006】本発明は、かかる従来の問題点に鑑みてなされたもので、表面電極から圧電材料への電圧の伝達効率に優れ、かつ、圧電材料の逆圧電効果を効率よく引き出すことができる圧電素子を提供しようとするものである。

## 【0007】

【課題の解決手段】請求項1の発明は、圧電材料と該圧電材料の表面に介在物を介することなく直接接合してなる金属よりなる表面電極を有してなり、該表面電極はその硬さHvが500以下であることを特徴とする圧電素子にある。

【0008】本発明において最も注目すべきことは、上記特定の硬度を有する表面電極を、圧電材料の表面に直接接合した金属により構成したことである。ここで、直接接合とは、上記のごとく、介在物を介することなく圧電材料に表面電極を形成させることを意味する。例えば、従来のAgペースト焼き付け電極に含有されるガラスフリット等の介在物は使用しない。

【0009】また、上記表面電極としては、導電性に優れた材料であれば、種々の金属（合金を含む）を用いることができる。そして、予め膜状に作製した表面電極材を圧電材料に接合することもできるし、また、膜状の表面電極を圧電材料の表面において形成することにより、表面電極の形成と圧電材料への接合を同時に行うこともできる。

【0010】また、上記表面電極は、その硬さHvが500以下となるよう軟らかく設ける。硬さHvが500を超える場合には、圧電材料の逆圧電効果による変形の拘束力が大きくなりすぎるといえる問題がある。

【0011】また、上記圧電材料としては、例えば、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛）、BaTiO<sub>3</sub>（チタン酸バリウム）、LiTaO<sub>3</sub>、Sr<sub>x</sub>Ba<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>、PbZrO<sub>3</sub>、PVDF+PZT、Li<sub>2</sub>NbO<sub>3</sub>、Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>、Tl<sub>3</sub>VS<sub>4</sub>等がある。

【0012】次に、本発明の作用効果につき説明する。本発明の圧電素子においては、上記のごとく、Hv500以下の軟らかい表面電極を上記圧電材料に直接接合してなる。そのため、表面電極から圧電材料への電圧の伝達効率を向上させることができ、かつ、圧電材料の逆圧電効果を阻害することなく効率よく引き出すことができる。

【0013】即ち、上記表面電極は金属よりなると共に圧電材料に直接接合されている。そのため、従来のAgペースト焼き付け電極の場合に形成されたような高抵抗層が形成されることがない。そのため、表面電極を介して印加される電圧は、表面電極の優れた導電性をそのまま生かして効率よく圧電材料に伝達される。

【0014】また、上記表面電極は硬さHvが500以下と軟らかい状態で形成されている。そのため、圧電材料が逆圧電効果による変形を起こす場合に、それに伴って表面電極が変形しやすく、表面電極により拘束される力が小さくなる。それ故、上記の電圧の伝達効率の向上と変形拘束力の低下の相乗効果によって、圧電材料の逆圧電効果を効率よく引き出すことができる。

【0015】なお、上記作用効果は上記圧電素子をアクチュエータとして用いる場合について示した。しかしながら、上記構成を有する上記圧電素子は、これをセンサとして用いる場合においても、表面電極における導電性の向上および拘束力の低下により、その圧電特性を従来よりも向上させることができる。

【0016】次に、請求項2の発明のように、上記表面電極の厚さは2 $\mu$ m以下であることが好ましい。この場合には、さらに、上記圧電材料の変形を表面電極により拘束する力を小さくすることができ、圧電素子の圧電特性をより一層向上させることができる。

【0017】また、請求項3の発明のように、上記表面電極は、無電解メッキ法、スパッタ法、あるいは蒸着法により形成されていることが好ましい。この場合には、表面電極自体の形成と、これの圧電材料への接合を同時に行うことができる。そのため、表面電極の圧電材料への直接接合を容易かつ確実に行うことができる。ここで、上記蒸着法としては、いわゆるCVD法、PVD法等の種々の方法がある。

【0018】また、請求項4の発明のように、上記表面電極は、ろう材により構成することもできる。この場合にも、電圧の伝達効率向上と上記拘束力の低減を図ることができる。ろう材としては、例えば、BAg系(JIS規格)の合金、BAu、Ni、Pt、Pd、Ru、Rh等を適用することができる。

【0019】

#### 【発明の実施の形態】実施形態例1

本発明の実施形態例にかかる圧電素子につき、図1を用いて説明する。本例の圧電素子1は、図1に示すごとく、圧電材料10と該圧電材料10の表面に介在物を介することなく直接接合してなる表面電極2よりなり、該表面電極2はその硬さHvが500以下である。

【0020】以下、この圧電素子1について詳説する。上記圧電材料10としては、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)よりなる圧電セラミックを用いた。この圧電材料10の作製は、市販の原料粉末(PE510、富士チタン工業製)を出発原料として用いて行った。まずこの原料粉末を、直径 $\phi$ 12mm $\times$ 厚さ0.5mmの円盤状に成形した。次いで、これを大気中において1200 $^{\circ}$ C $\times$ 4時間の条件で焼成した。次に、得られた焼成体の表面を#600のダイヤモンド砥石により研磨することにより、圧電材料10を得た。

【0021】次に、圧電材料10の両面に表面電極2を

配設した。本例では、次の要領で無電解メッキ法を実施してNiよりなる表面電極2を設けた。

(1) 脱脂；温度50 $^{\circ}$ Cの処理液(エースクリーンA-220、奥野製薬製)に圧電材料10を3分間浸漬した。

(2) エッチング；温度25 $^{\circ}$ Cの42%ホウフッ化水素酸の希釈液に圧電材料10を60秒間浸漬した。

(3) ディスマット；温度25 $^{\circ}$ CのディスマットTY(スマット除去材)に圧電材料10を2分間浸漬した。

【0022】(4) センシダイザー；温度25 $^{\circ}$ Cのセンシダイザーの処理液に圧電材料10を3分間浸漬した。ここで、上記センシダイザーの処理液は、不動体表面に還元力の強い第1スズイオンを吸着させるものである。

(5) アクテベータ；温度25 $^{\circ}$ Cのアクテベータの処理液に圧電材料10を1分間浸漬した。ここで、上記アクテベータの処理液は、不動体表面に触媒となる金属層を形成するものである。

(6) センシダイザー；上記(4)と同じ。

(7) アクテベータ；上記(5)と同じ。

【0023】(8) 無電解ニッケルメッキ；Pを10%含有したメッキ溶液ニコロンSA-98-MとニコロンSA-98-1との混合液を温度90 $^{\circ}$ Cに保持し、該混合液よりなるメッキ溶液に圧電材料10を所定時間浸漬することによりNiメッキ膜を形成した。本例では、メッキ溶液への浸漬時間を8分として、Niメッキ膜厚、すなわち表面電極2の厚さを2 $\mu$ mとした。これにより、圧電材料10とその表面に介在物を介することなく直接接合してなる表面電極2を設けた圧電素子1(本発明品E1)が得られた。なお、上記表面電極2はその硬さHvが500であった。

【0024】次に、本例においては、本発明品E1としての上記圧電材料10の圧電特性の向上効果を評価するため、上記表面電極2と同じ厚みのAgペースト焼き付け電極を有する比較品C1を作製した。この比較品C1は、ガラスフリット成分を含有したAgペーストを上記圧電材料10の表面に塗布し、これを焼成することにより厚さ2 $\mu$ mのAgペースト焼き付け電極を設けたものである。このAgペースト焼き付け電極の硬さHvは30であった。

【0025】次に、本発明品E1及び比較品C1の圧電特性として、K<sub>p</sub>及び変位量を測定した。K<sub>p</sub>は、電気機械結合係数であり、共振・反共振法より求めた値である。また、変位量は、圧電材料に電圧を印加したときに逆圧電効果により電圧印加方向に変位する量である。また、K<sub>p</sub>はインピーダンスアナライザー(ヒューレットパッカード4194A)を用いて、変位量は変位測定器を用いて、印加電圧-200/600V、圧縮応力20MPa、周波数0.1Hz、温度は25 $^{\circ}$ Cの条件で測定した。

【0026】測定の結果、K<sub>p</sub>は、本発明品E1が71%であり、比較品C1が69%であった。また、変位量

は、本発明品E1が $0.4\mu\text{m}$ であり、比較品C1が $0.34\mu\text{m}$ であった。即ち、本発明品E1はKp、変位量のいずれにおいても比較品C1よりも優れた結果を示した。

【0027】この理由は次のように考えられる。即ち、本発明品E1の表面電極2は、導電性に優れたNiメッキ膜よりなると共に、上記のごとく、圧電材料10に直接接合されている。そのため、比較例C1のAgペースト焼き付け電極の場合のような高抵抗層が表面電極2と圧電材料10との間に存在しない。そのため、表面電極2から圧電材料10への電圧の伝達効率を従来よりも向上させることができる。

【0028】また、上記表面電極2は、硬さHvが500以下と比較的軟らかい状態で形成されている。そのため、圧電材料10の逆圧電効果による変形を表面電極2により拘束する力をAgペースト焼き付け電極なみに小さくすることができる。それ故、本発明品E1は、表面電極2における電圧の伝達効率の向上と変形拘束力の低下によって、電圧の伝達効率が低いAgペースト焼き付け電極を用いた比較品C1に比べて、圧電材料10の逆圧電効果をより効率よく引き出すことができる。

#### 【0029】実施形態例2

本例では、図2、図3に示すごとく、実施形態例1の圧電素子1における、表面電極2の厚さと圧電特性の関係を定量的に評価した。具体的には、実施形態例1における(8)無電解ニッケルメッキ処理において、メッキ溶液への浸漬時間を4分、8分、18分と変えてメッキ膜厚(表面電極2の厚さ)を $1\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ と変化させた圧電素子をそれぞれ作製した。得られた表面電極2の硬さはすべてHv500である。表面電極2の厚さが $1\mu\text{m}$ のものを試料E21、 $2\mu\text{m}$ のものを試料E22、 $4\mu\text{m}$ のものを試料E23とする。

【0030】各圧電素子の圧電特性としては、Kp及び変位量を測定した。測定の条件は、実施形態例1と同様とした。

【0031】圧電特性の測定結果を図2及び図3に示す。図2は、横軸に表面電極2の厚さ( $\mu\text{m}$ )を、縦軸にKp(%)をとったものである。図3は、横軸に表面電極2の厚さ( $\mu\text{m}$ )を、縦軸に変位量( $\mu\text{m}$ )をとったものである。図2及び図3より知られるごとく、表面電極2の厚みを $2\mu\text{m}$ 以下にすることにより、Kp及び変位量により示される圧電特性をより一層向上させることができることが分かった。

#### 【0032】実施形態例3

本例では、図4、図5に示すごとく、実施形態例1の圧電素子1における、表面電極2の硬さと圧電特性の関係を定量的に評価した。具体的には、厚さを $1\mu\text{m}$ 又は $2\mu\text{m}$ とし、硬さをHv15~800の範囲で変化させた4種類の圧電素子を作製し、その圧電特性を測定した。準備した圧電素子は、表面電極以外の部分は実施形態例

1と同様である。

【0033】準備した圧電素子における表面電極の特徴は次のとおりである。

(本発明品E31)；硬さHv=15、厚さ $1\mu\text{m}$ の金蒸着膜。金は、イオンコーターにより製膜した。

(本発明品E32)；硬さHv=35、厚さ $2\mu\text{m}$ の銀と銅の合金膜を拡散接合したもの。

【0034】(本発明品E33)；硬さHv=40、厚さ $2\mu\text{m}$ の無電解Cuメッキ膜。この場合の無電解メッキは、実施形態例1における上記(1)~(7)と同様の処理を行った後、OPCカップ-T-1とOPCカップ-T-2とOPCカップ-T-3(いずれも奥野製薬製)の混合液をメッキ溶液として用いて無電解メッキを行った。無電解メッキ条件は、メッキ溶液の温度が $60^{\circ}\text{C}$ 、浸漬時間が30分という条件とした。

【0035】(本発明品E34)；硬さHv=500、厚さ $2\mu\text{m}$ の無電解Niメッキ膜。実施形態例1と同じである。

(比較品C31)；硬さHv=600、厚さ $2\mu\text{m}$ の無電解Niメッキ膜。メッキ溶液のP含有量を6%のメッキ溶液を用いてメッキ膜の硬度を高めたものである。メッキ溶液は、Pを6%含有したICPニコロンUSD-MとICPニコロンUSD-1(奥野製薬製)の混合液である。

【0036】(比較品C32)；硬さHv=800、厚さ $2\mu\text{m}$ の無電解Niメッキ膜。メッキ溶液のP含有量を0とし、Bの含有量を0.5%としてさらにメッキ膜の硬度を高めたものである。メッキ溶液は、B(ボロン)を0.5%含有したケミアロイ66-Mとケミアロイ66-1(奥野製薬製)の混合液である。

【0037】次に、各圧電素子(E31~E34、C31、C32)の圧電特性の測定結果を図4及び図5に示す。図4は、横軸に表面電極2の硬さ(Hv)を、縦軸にKp(%)をとったものである。図5は、横軸に表面電極2の硬さ(Hv)を、縦軸に変位量( $\mu\text{m}$ )をとったものである。図4及び図5より知られるごとく、表面電極2の硬さをHv=500以下にすることにより、Kp及び変位量により示される圧電特性を向上させることができることが分かる。

#### 【0038】実施形態例4

本例は、実施形態例1における無電解Niメッキ膜よりなる表面電極2に代えて、ろう材よりなる表面電極を用いた例である。即ち、図1における表面電極2として、圧電材料10の表面に介在物を介することなくろう材を直接接合してなる金属により構成した。即ち、BAg系(JIS)のAgが79%、Cuが21%の合金よりなるろう材を用いて表面電極を形成した。

【0039】まず、実施形態例1と同様にして圧電材料10を作製した。次いで、圧電材料10の両面に、BAg粉末を樹脂と混合してペースト状にし、それをスクリーン印刷により印刷した。その後、大気中で $700^{\circ}\text{C}$ ×

10分で焼き付けて樹脂成分を除去して、拡散接合して表面電極を設けた。得られた表面電極の厚さは $2\mu\text{m}$ 、硬さHvは35であった。

【0040】次に、得られた圧電素子（本発明品E4とする）の圧電特性として、実施形態例1と同様にKp及び変位量を測定した。その結果、本発明品E4のKpは71%、変位量は $0.4\mu\text{m}$ であった。この特性は、実施形態例1に示した比較品C1と比べて非常に優れたものとなった。

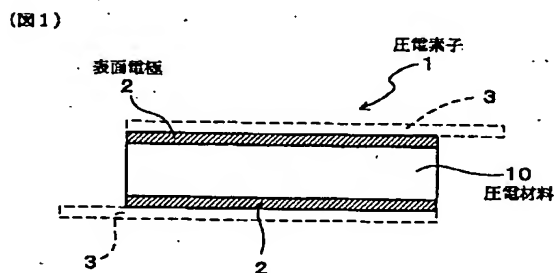
【0041】

【発明の効果】上述のごとく、本発明によれば、表面電極から圧電材料への電圧の伝達効率に優れ、かつ、圧電材料の逆圧電効果を効率よく引き出すことができる圧電素子を提供することができる。

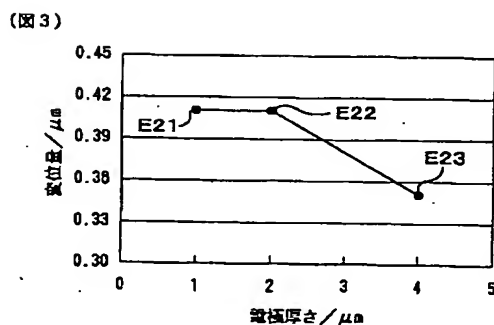
【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態例1における、圧電素子の構成を示す

【図1】



【図3】



説明図。

【図2】実施形態例2における、表面電極の厚さとKpとの関係を示す説明図。

【図3】実施形態例2における、表面電極の厚さと変位量との関係を示す説明図。

【図4】実施形態例3における、表面電極の硬さとKpとの関係を示す説明図。

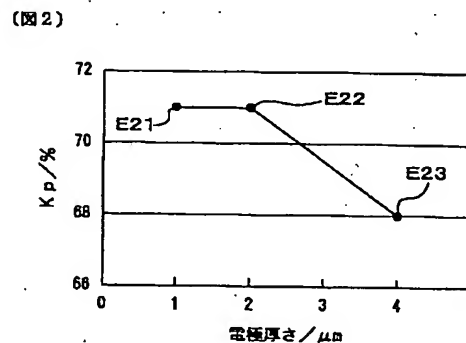
【図5】実施形態例3における、表面電極の硬さと変位量との関係を示す説明図。

【図6】従来例における、圧電素子の構成を示す説明図。

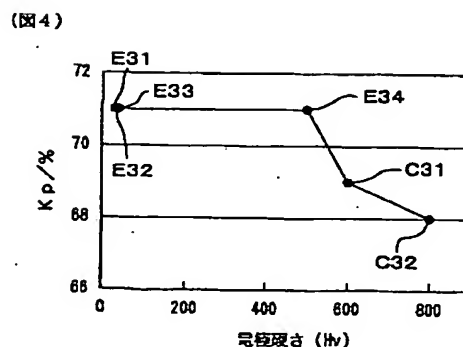
【符号の説明】

- 1... 圧電素子,
- 10... 圧電材料,
- 2... 表面電極,
- 3... 取り出し電極,

【図2】

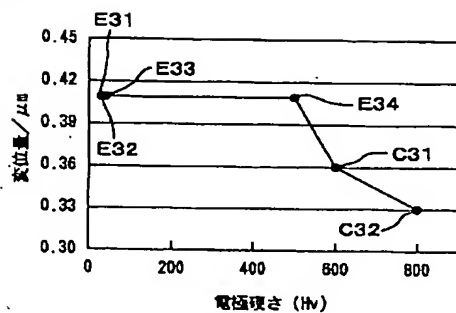


【図4】



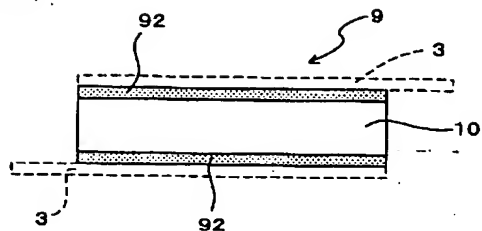
【図5】

(図5)



【図6】

(図6)



フロントページの続き

(72)発明者 牧野 浩明  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内